

П. М. Николин, асп.

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ У РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Створено математичну модель механічних втрат у роботі електроприводного відцентрового насоса, визначено та побудовано графічні залежності ефективності роботи для відцентрового насоса НМ-7000-210. Показано важливість врахування змінного механічного коефіцієнта корисної дії для повної оцінки ефективності роботи насоса.

Вступ

Електроприводні відцентрові насоси (ЕВН) є одними із найпоширеніших агрегатів. Вони споживають значну частину електричної енергії, що виробляється в країні. Оскільки ЕВН задіяні у водозабезпеченні питною водою населених пунктів та для транспортування нафти та нафтопродуктів по магістралях, до них ставлять жорсткі вимоги, щодо енергоекономічності їхньої роботи та надійності виконання ними заданих функцій [1, 2]. Ефективність виконання кожної з цих функцій безпосередньо залежить від енергетичних втрат, як в електроприводі так і в гідронасосі. Значні втрати в цих машинах знижують коефіцієнт корисної дії (ККД), спричиняють інтенсивний знос робочих частин виконавчих органів, і відповідно, появу дефектів, які призводять до підвищення рівня вібрації. Це безумовно зменшує їх надійність та термін експлуатації. Згідно із Директивою Євросоюзу та Європейською асоціацією виробників та споживачів насосного обладнання було прийнято рішення про зниження енергоспоживання насосного обладнання до 40 %. Економічність роботи ЕВН залежить, перш за все, від сумісності характеристик електроприводу та відцентрового насоса. В багатьох випадках точки оптимальної роботи електричної та гідравлічної машин далекі одна від одної. Це зумовлено неправильним підбором машин, які працюють в парі, або незнанням енергетичної характеристики робочої машини на всьому діапазоні зміни навантаження. Це можливо зробити за допомогою математичного моделювання.

Мета та постановка задачі: розробити модель механічних втрат відцентрового насоса, який би відображав характер зміни механічного ККД та його роль у повному ККД ЕВН.

Основна частина

Відомо, що ККД ЕВН визначається, як добуток трьох складових: об'ємного, гідравлічного та механічного ККД

$$\eta_{\Sigma} = \eta_0 \eta_r \eta_{\text{мех}}, \quad (1)$$

де η_0 , η_r , $\eta_{\text{мех}}$ — відповідно, об'ємний, гідравлічний та механічний ККД.

У наукових працях [3, 4, 5] визначено об'ємний та гідравлічний ККД, а от визначенню механічного ККД приділено недостатньо уваги. В кращому випадку його значення беруть ustalеним на всьому інтервалі робочих навантажень [5] або взагалі нехтують цим значенням, взявши рівним одиниці [4]. Така інтерпретація не зовсім правильна. Довести значущість впливу механічного ККД на повний ККД ЕВН можна попередньо змодельовавши характер зміни механічного опору насоса, який є визначальним для побудови механічного ККД. За основу беремо математичну модель ЕВН, описану в [5]. У цій моделі механічний опір врахований у вигляді комплексного числа, яке містить дисипативну та інерційну складові. Розрахунки показали, що величина механічного опору моделі ЕВН визначається тільки інерційною складовою. Таке співвідношення між опорами не відображає фізичного характеру енергетичних перетворень в ЕВН. Втрати потужності на механічне тертя зазвичай носять чітко виражений дисипативний характер (тертя в підшипниках, сальниках і дискові тертя). Моделювання опору механічних втрат, як постійної та незалежної від режиму роботи величини справедливе

тільки для точки номінального режиму роботи насоса. В іншому режимі механічний опір буде змінюватись.

Для зручності всі розрахунки будемо проводити у відносних одиницях де за базові взяті номінальні параметри відцентрової машини [5].

Враховуючи сказане, запропоновано функцію залежності механічного опору від витрати

$$R_{\text{мех}} = (R_{\text{мех}}^{\text{ном}}) Q_{\text{д}}^2, \quad (2)$$

де $R_{\text{мех}}^{\text{ном}}$ – відносне значення механічного опору в номінальному режимі роботи ЕВН; $Q_{\text{д}}$ – відносне значення дійсної витрати ЕВН, яка змінюється в межах від 0 до 1,4.

Використовуючи схему заміщення математичної моделі ЕВН [5, 7] та закони електротехніки [6], визначаємо потужність механічних втрат насоса

$$S_{\text{мех}} = \frac{(H_{\text{рез}})^2}{R_{\text{мех}}}, \quad (3)$$

де $R_{\text{мех}}$ – значення механічного опору в робочому інтервалі ЕВН; $H_{\text{рез}}$ – результуючий напір згідно з математичною моделлю ЕВН.

Корисна потужність на виході насоса

$$S_{\text{кор}} = H_{\text{д}} Q_{\text{д}}, \quad (4)$$

де $H_{\text{д}}$, $Q_{\text{д}}$ – значення дійсного напору та витрати насоса.

Використовуючи отримані величини, визначаємо механічний ККД

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{S_{\text{кор}}}{S_{\text{мех}}}}. \quad (5)$$

Окремо становить інтерес гідравлічний та об'ємний ККД гідромеханічного перетворювача, але представимо їх у вигляді добутку:

$$\eta_{\text{го}} = \frac{H_{\text{д}} Q_{\text{д}}}{H_{\text{т}} Q_{\text{т}}} = \frac{S_{\text{кор}}}{S_{\text{т}}}, \quad (6)$$

де $H_{\text{т}}$, $Q_{\text{т}}$, $S_{\text{т}}$ – відповідно, теоретичні (внутрішні) напір, витрата та потужність насоса [5].

Покажемо отримані залежності у вигляді графіків (рис. 1).

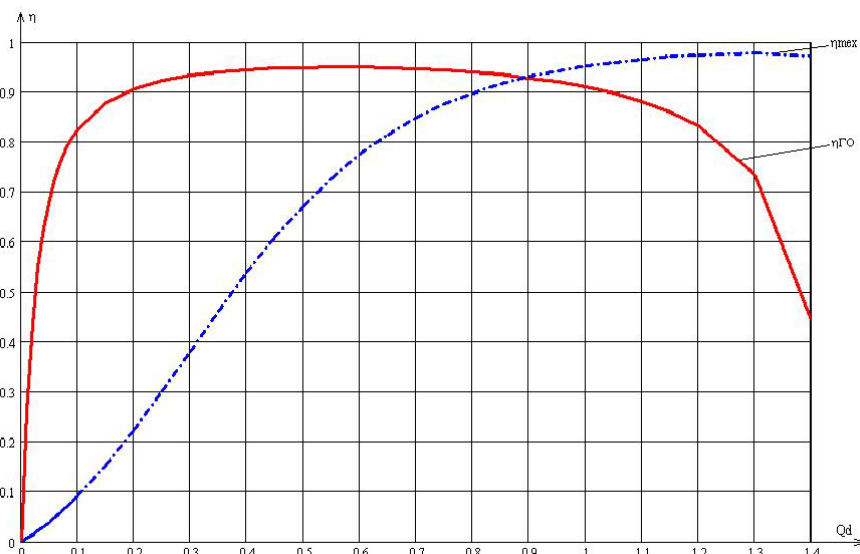


Рис. 1. Криві залежності добутку гідравлічного та об'ємного ККД, а також графік зміни механічного ККД для нафтового насоса типу НМ-7000-210

Аналізуючи показані графіки, можна зробити висновки. Перш за все добуток гідравлічного та об'ємного ККД на всьому робочому проміжку (від $0,3Q_d$... $1,05Q_d$) змінюється в межах 3...4%. Тобто він майже рівномірний і, як наслідок, мало впливає на повний ККД ЕВН. В свою чергу, механічний ККД є величиною різкозмінною і має визначальний вплив на кривизну характеристики повного ККД насоса.

Побудуємо графічні залежності ККД ЕВН для порівняння розрахункових та експериментальних величин.

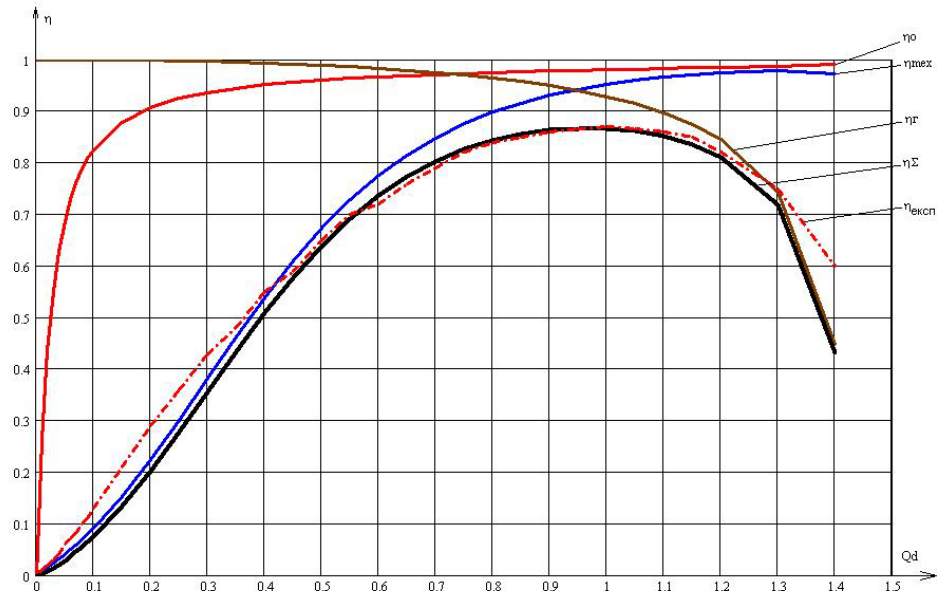


Рис. 2. Сімейство енергетичних залежностей для насоса НМ-7000-210

Висновки

Отримані результати математичного моделювання механічних втрат ЕВН збігаються з експериментальними. Ці результати дозволяють точніше оцінити ефективність енергетичних перетворень у відцентрових насосах і вибрати оптимальний режим роботи для кожної електрогідравлічної пари.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Державний комітет України з енергозбереження. Розвиток механізмів енергозбереження в регіонах. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/index.htm>.
2. Не стоит перекачивать прибыль из Вашего завода. Оставьте ее себе. [Електронний ресурс] / — Режим доступу : <http://www.fluidbusiness.ru/usefull/articles/save-profit/>.
3. Якимів Й. В. Типові технологічні розрахунки трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів : навч. посіб. / Й. В. Якимів. — Івано-Франківськ : Факел, 2006. — 366 с. — ISBN 966-694-060-4.
4. Сулейманов Р. Н. Эффективность работы насосных агрегатов / Р. Н. Сулейманов, А. С. Галеев, Г. И. Бикбулатова. — Уфа : Изд-во УГНТУ, 2004. — 100 с.
5. Костишин В. С. Моделирование режимов работы відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії / В. С. Костишин. — Івано-Франківськ : Факел, 2000. — 163 с. — ISBN 966-7327-05-1.
6. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. — М. : Высшая школа, 1973. — 752 с.
7. Костишин В. С. Представлення відцентрового насоса у вигляді чотириполюсника / В. С. Костишин, П. М. Николін // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2006. — № 3. — С. 76—80.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 14.10.11

Рекомендована до друку 14.02.12

Николін Петро Михайлович — аспірант кафедри електропостачання та електрообладнання.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ